



DIALOG(R)File 352:Derwent WPI  
(c) 2003 Thomson Derwent. All rts. reserv.  
010572318 \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 1996-069271/199608  
XRAM Acc No: C96-022603  
XRPX Acc No: N96-058176

Vapour coating device for prodn. of thin filmed solar cells - comprises holding unit surrounded by rotatable cylindrical reflector body with slit-shaped opening, giving easily controlled flow direction

Patent Assignee: ZENT SONNENENERGIE & WASSERSTOFF-FORSCH (SONN-N)

Inventor: DIMMLER B; SCHOCK H

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicant No	Kind	Date	Week
DE 4422697	C1	19960125	DE 4422697	A	19940629	199608 B

Priority Applications (No Type Date): DE 4422697 A 19940629

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
DE 4422697	C1	G	6 C23C-014/22	

**Abstract (Basic): DE 4422697 C**

The vapour coating device consists of a holding unit (2) for the material to be vaporised, surrounded by a rotatable cylindrical reflector body (6) with a slit-shaped opening (7). The body (6) is heated and can rotate around the unit (2) so that the opening can be in any required position.

USE - Used esp. for producing thin filmed solar cells.

ADVANTAGE - Large areas can be coated with the vapour flow direction easily controlled. Coating from above is also possible.

Dwg.1/2

Title Terms: VAPOUR; COATING; DEVICE; PRODUCE; THIN; FILM; SOLAR; CELL; COMPRISE; HOLD; UNIT; SURROUND; ROTATING; CYLINDER; REFLECT; BODY; SLIT; SHAPE; OPEN; EASY; CONTROL; FLOW; DIRECTION

Derwent Class: L03; M13; U11; U12; X15

International Patent Class (Main): C23C-014/22

International Patent Class (Additional): C23C-014/56

File Segment: CPI; EPI



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

# Patentschrift

## DE 44 22 697 C 1

⑮ Int. Cl. 6:  
**C 23 C 14/22**  
C 23 C 14/56  
// H01L 31/18

⑯ Aktenzeichen: P 44 22 697.7-45  
⑯ Anmeldetag: 29. 6. 94  
⑯ Offenlegungstag: —  
⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 25. 1. 96

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑰ Patentinhaber:

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, 70565 Stuttgart, DE

⑳ Vertreter:

Patentanwälte Wilhelm & Dauster, 70174 Stuttgart

⑰ Erfinder:

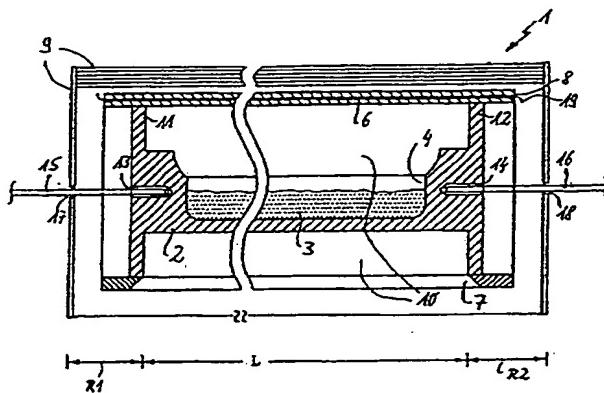
Dimmler, Bernhard, 72145 Hirrlingen, DE; Schock, Hans-Werner, Dr., 70563 Stuttgart, DE

⑲ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-PS	32 06 622
DE-OS	41 33 615
DE-OS	38 17 513
US	51 82 567
US	43 92 451
EP-OS	4 89 443
EP-OS	4 02 842

④ Verdampferquelle für eine Aufdampfanlage und ihre Verwendung

⑤ Bekannte Verdampferquellen, die in Aufdampfanlagen zur Substratbeschichtung verwendbar sind, besitzen meist nicht die Möglichkeit, einen aus einem Dampfdruckgleichgewicht stammenden Dampfstrahl in eine beliebige gewünschte Richtung zu emittieren. Insbesondere ist daher meist keine zufriedenstellende Substratbeschichtung von oben her möglich. Zudem gestaltet sich bei bekannten Verdampferquellen die Nachfüllung des zu verdampfenden Materials konstruktionsbedingt sehr schwierig.  
Es wird eine Verdampferquelle (1) vorgeschlagen, die einen drehbeweglichen Heiz- und Reflektorrohrkörper (6) beinhaltet, der einen nach oben offenen Verdampfungsgutbehälter (2) dampfraumbildend umschließt und mit einem Dampfauslaß (7) versehen ist. Eine dafür geeignete Nachfüleinrichtung beinhaltet einen Vorratsbehälter sowie ein aus diesem nach unten führendes Zuführrohr, die beide von einer zufuhrratesteuernden Heizeinrichtung umgeben sind. Eine mit einer solchen Verdampferquelle ausgerüstete Aufdampfanlage ermöglicht sehr homogene, ein- oder mehrlagige Beschichtungen auch großflächiger Substrate mit hoher Schichtqualität in beliebig wählbarer Aufdampfrichtung.  
Verwendung beispielsweise bei der Herstellung von Dünnschichtsolarzellen.



## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Verdampferquelle nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie auf die Verwendung einer derartigen Verdampferquelle in einer Aufdampfanlage zur Beschichtung von Substraten z. B. mit dünnen elementaren oder mehrkomponentigen Schichten.

In der Offenlegungsschrift DE 38 17 513 A1 ist eine Verdampferquelle für eine Aufdampfanlage zur Beschichtung von Bändern in Vakuum mit Zink beschrieben, bei der ein Verdampfungsschiffchen von einem an seiner Oberseite mit einer Mehrzahl hintereinanderliegender, sich jeweils über einen Winkelbereich von ca. 45° erstreckender Querschlitzöffnungen versehenen Rohr umgeben ist, an dessen Außenseite eine Heizeinrichtung angeordnet ist. Das Rohr ist an seiner Oberseite fest mit einem Rahmenteil verbunden, das die Öffnungen umschließt. Über den Rohröffnungen befindet sich eine von einem elastischen Dichtrahmen umgriffene Düsenleiste, die einen einstellbaren Düsenspalt für den Dampfaustritt definiert. Zur Beschichtung werden die Bänder mit der zu beschichtenden Seite nach unten über der zwangsweise nach oben linienförmig abdampfenden Verdampferquelle vorbeigeführt, wobei der Düsenspalt quer zur Bandlaufrichtung liegt.

In der Offenlegungsschrift EP 0 402 842 A2 ist eine Verdampfereinrichtung offenbart, die eine Substanz innerhalb eines gasgefüllten Rohres verdampft, um den Dampf als angeregtes oder ionisierendes Medium, z. B. für einen Metall dampflaser, verwenden zu können, wobei die Substanz in einer oder mehreren Röhrchen innerhalb des gasgefüllten Rohres bevorratet ist, die jeweils mit wenigstens einer Öffnung derart versehen sind, daß der Dampf in den von dem gasgefüllten Rohr definierten Entladungsraum mit einer steuerbaren Emissionsrate ausströmbar ist, wodurch die Dichte des Dampfes der Substanz relativ zu derjenigen eines Puffergases regulierbar ist. Die Röhrchen sind entlang der Innenwand des gasgefüllten Rohres mit radial nach innen gerichteten Öffnungen angeordnet, die zu den Röhrendurchmessern hin mit größerem Durchmesser und/oder kleinerem Abstand zueinander eingebracht sein können. Dabei kann ein Röhrchen auch oben entlang der Innenwand des gasgefüllten Rohres mit nach unten gerichteten Dampfaustrittsöffnungen angeordnet sein, wobei dann die zu verdampfende Substanz jeweils in den Bereichen zwischen den Öffnungen angehäuft ist. Zur Aufheizung des Substrats wird im Entladungsraum eine Entladung gezündet und dadurch das Puffergas aufgeheizt, welches seinerseits das oder die Röhrchen und damit die mit diesem in Kontakt stehende Substanz bis zu dessen Verdampfung erhitzt.

In der Offenlegungsschrift EP 0 489 443 A1 ist eine linienförmige Verdampferquelle gezeigt, die einen zylindrischen Tiegel mit offenen Stürnseiten und einem oben liegenden axialen Dampfaustrittsschlitz beinhaltet, wobei sich koaxial in dem Tiegel ein ausgehöhltes, zylindrisches Einsatzteil befindet, in welchem das Aufdampfmaterial aufgenommen ist und das mit einem nach oben offenen Schlitz versehen ist, dessen Breite merklich größer als diejenige des eigentlichen Dampfaustrittsschlitzes im umgebenden Zylindertiegel ist. Diese Maßnahme dient der verbesserten Nachfüllbarkeit von Aufdampfmaterial. Dazu ist das Einsatzteil axial aus dem umgebenden Zylinder herausnehmbar, wonach das Material dort bequem in den weiten Schlitz nachgefüllt werden kann, so daß es nicht durch den vergleichsweise engeren

Dampfaustrittsschlitz des äußeren Zylinders eingefüllt werden muß. Zur Verhinderung axialen Abdampfens ist das zylindrische Einsatzteil stürnseitig geschlossen und wird eng vom äußeren Zylinder umgeben.

- 5 In der Patentschrift DE 32 06 622 C2 sind Verdampferquellen offenbart, bei denen zur Verdampfung des Materials ein Lichtbogen gezündet wird. Dabei wird in einem Beispiel eine Kugelsegment-Gegenelektrode über einem ringförmigen Schmelzriegel so positioniert,
- 10 daß die aufsteigenden Dämpfe von der Gegenelektrode nach unten reflektiert werden, wonach sie durch die vom ringförmigen Schmelzriegel umgebene, offene Kreisfläche hindurchtreten, wodurch ein unter dem Schmelzriegel liegendes Substrat von oben beschichtet werden kann. In einem weiteren Beispiel in Form einer tragbaren Verdampferquelle wird das Material in einem kugelförmigen Schmelzriegel verdampft und der Dampf durch einen seitlichen Auslaß im Schmelzriegel herausgeführt.
- 15 20 Bei einer in der Offenlegungsschrift DE 41 33 615 A1 und der korrespondierenden Patentschrift US 5.182.567 beschriebenen Verdampferquelle zur Metallbeschichtung eines Substrats ist ein mit seiner Längsachse horizontal liegender Zylinder als Verdampfungsgutbehälter vorgesehen, wobei an der Oberseite des Zylindermantels ein axial verlaufender Dampfaustrittsschlitz vorgenommen ist, über den gleichzeitig das zu verdampfende Metall in Form eines Drahtes zugeführt wird. Das zugeführte Material wird durch Heizen dieses zylindrischen Behälters geschmolzen. Der gegenüber einem nach oben vollständig offenen Tiegel verengte Metalldampfauslaß in Form des Zylindermantelschlitzes soll das Auftreten von Metallspritzen auf der Beschichtung herabsetzen, indem zum einen der größte Teil solcher Spritzer vom umgebenden Zylindermantel zurückgehalten und zum anderen durch die Umschließung ein erhöhter Druck für das geschmolzene Metall aufrechterhalten wird. Bei Bedarf wird dieser Zylindertiegel von einem koaxialen zylindrischen Hitzeschild zur thermischen Abschirmung umgeben, das nach unten offen und an der Oberseite mit einem Dampfaustrittsschlitz versehen ist, welcher demjenigen des zylindrischen Tiegs entspricht und zu diesem ausgerichtet ist, wobei der zugeführte Draht auch durch diesen Schlitz hindurchgeführt ist.
- 25 30 35 40 45

In der Patentschrift US 4 392 451 ist eine Aufdampfanlage zur Beschichtung von Substraten mit mehreren Schichten im Durchlaufbetrieb offenbart, die zur Herstellung von Dünnschichtsolarenzellen mit Heteroübergang auf der Basis ternärer oder quaternärer Verbindungen dient. Bei dieser Anlage werden die verschiedenen auf zubringenden Materialien in jeweiligen Schiffchen, die in Durchlaufrichtung hintereinander angeordnet sind, verdampft, wobei der Dampf nach oben abgestrahlt wird und sich auf der Unterseite des darüber vorbeigeführten Substrates abscheidet.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung einer Verdampferquelle, mit der sich qualitativ hochwertige Schichten auch großflächig aufdampfen lassen und die eine beliebige Wahl der Dampfstrahlrichtung ermöglicht, sowie die Verwendung einer Verdampferquelle in einer Aufdampfanlage zugrunde, mit der sich Substrate, insbesondere auch im Durchlaufbetrieb, mit einer oder mehreren aufeinanderliegenden Schichten in einer gewünschten Aufdampfrichtung, insbesondere auch von oben her, beschichten lassen.

Dieses Problem wird durch eine Verdampferquelle mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie eine

Verdampferquellenverwendung in einer Aufdampfanlage gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 9 gelöst. Das aufzudampfende Material wird in dem nach oben offenen und in dieser Lage festgehaltenen Behälter verdampft. Die Anordnung des rohrförmigen Reflektorkörpers derart, daß ein Materialdampfraum gebildet wird, bewirkt, daß sich in diesem Materialdampfraum ein thermisches Gleichgewicht zwischen fester bzw. flüssiger und gasförmiger Phase und damit ein Gleichgewichtsdampfdruck einstellen kann, so daß ein sehr homogener Dampfaustrittsfluß erzielt wird, mit dem sich jede gewünschte Verteilung des austretenden Dampfes über den gesamten Dampfauslaß einstellen läßt, was sich positiv auf die Homogenität und somit die Qualität der damit aufgedampften Schichten auswirkt. Um die Aufrechterhaltung eines solchen Gleichgewichtsdampfdrucks sicherzustellen, sollte der Dampfaustrittsquerschnitt höchstens ca. zehnmal so groß sein wie die abdampfende Oberfläche des Verdampfungsgutes. Eine Beheizung des Reflektorkörpers auf eine jeweils materialabhängige Temperatur verhindert Kondensation und Tröpfchenbildung an den Rohrkörperinnenwänden. Eine besonders vorteilhafte Möglichkeit besteht hierbei darin, die Aufheizung des Aufdampfgutes im Behälter allein über die Aufheizung des Reflektorkörpers vorzunehmen, ohne daß der das geschmolzene Aufdampfmaterial fassende Behälter selbst aufgeheizt wird. Dies stellt automatisch sicher, daß sich der Reflektorkörper jeweils auf einer für Verhinderung von Materialkondensation ausreichend hohen Temperatur befindet. Durch die drehbewegliche Anordnung des Reflektorkörpers läßt sich die Winkelstellung des Dampfauslasses und damit die Richtung des von der Verdampferquelle emittierten Dampfstrahls beliebig einstellen. Insbesondere ist auch problemlos die Abstrahlung eines Aufdampfstrahls, dessen Dampf aus einem Raum mit thermischem Gleichgewichtsdampfdruck des abzuscheidenden Materials stammt, nach unten möglich. Eine derartige Aufdampfrichtung ist häufig wünschenswert, z. B. wenn großflächige Substrate, die aus Stabilitäts- oder anderen Gründen auf einem Träger aufliegen, beschichtet werden sollen.

Der beheizbare Reflektorkörper kann mit jedem beliebigen Dampfaustrittsprofil versehen sein, insbesondere mit linienförmigen Profilen, die sich zur flächenhaften Beschichtung von Substraten in der Weise eignen, daß das zu beschichtende Substrat quer zum linienförmigen Dampfauslaß an der Verdampferquelle vorbeigeführt wird. Wenn eine homogene Beschichtung gewünscht wird, ist es dabei meist erforderlich, den Dampfaustrittsquerschnitt in den Endbereichen des Linioprofs gegenüber dem mittleren Bereich zu erhöhen. Dies läßt sich vorteilhaft durch Gestaltungen des Dampfaustrittsprofils erreichen, wie sie durch Anspruch 2 gegeben sind.

In Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 3 ist der bewegliche Reflektorkörper als stirnseitig offenes Rohr realisiert, wobei der stirnseitige Abschluß, durch den das dortige Austreten von nennenswerten Dampfmengen verhindert wird, am Verdampfungsgutbehälter vorgesehen ist. Auf diese Weise lassen sich stirnseitig weitere konstruktive Maßnahmen ohne Beeinträchtigung der Drehbeweglichkeit des Reflektorkörpers vornehmen. Beispielsweise kann gemäß Anspruch 4 an einer oder an beiden Stirnseiten eine Einrichtung zur Temperaturmessung am Verdampfungsgutbehälter angeordnet werden.

In Anspruch 5 sind vorteilhafte Realisierungen zur

direkten oder indirekten ohmschen Beheizung des Reflektorkörpers angegeben. Dabei kann gemäß Anspruch 6 eine thermische Abschirmung um den Reflektorkörper herum vorgesehen sein, die letzteren stirnseitig sowie mit Ausnahme der Dampfaustrittsöffnungen umfangsseitig umgibt.

Bei einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 7 läßt sich die Materialverdampfung durch Aufheizen des Verdampfungsgutbehälters bewerkstelligen, und der Reflektorkörper kann gleichzeitig auf eine Temperatur erwärmt werden, die ausreicht, die Kondensation des Materialdampfes am Rohrkörper zu verhindern.

Bei einer Weiterbildung der Erfindung nach Anspruch 8 ist eine Nachfüllvorrichtung für die Verdampferquelle vorgesehen, mit deren Hilfe das Verdampfungsgut gesteuert dosierbar und kontinuierlich zugeführt werden kann.

Eine vorteilhafte Weiterbildung sieht eine im Durchlaufbetrieb arbeitende Aufdampfanlage gemäß Anspruch 10 vor, bei der mehrere erfundungsgemäß Verdampferquellen in Durchlaufrichtung hintereinanderliegend angeordnet sind, die jeweils ein linienförmiges, sich quer zur Durchlaufrichtung erstreckendes Dampfaustrittsprofil besitzen. Damit lassen sich Substrate in einem Durchlauf mit einem mehrkomponentigen Schichtaufbau versehen, wie dies beispielsweise für die Herstellung von Dünnschichtsolarzellen mit aus ternären oder quaternären Verbindungen bestehenden photoelektrisch aktiven Schichten erwünscht ist. Dabei ist es gemäß Anspruch 11 insbesondere möglich, die Verdampferquellen über der Durchlaufebene des Substrats zu positionieren und damit die Substrate von oben zu beschichten.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine Querschnittsansicht durch eine Verdampferquelle,

Fig. 2 einen Längsschnitt längs der Linie II-II von Fig. 1,

Fig. 3a bis 3g Draufsichten auf unterschiedliche Dampfaustrittsprofile für Verdampferquellen nach Art der Fig. 1 und 2,

Fig. 4 eine perspektivisch angedeutete Verdampferquelle mit einer im Längsschnitt gezeigten Nachfüllrichtung und

Fig. 5 eine schematische Perspektivansicht einer Aufdampfanlage zur mehrkomponentigen Substratbeschichtung im Durchlaufbetrieb mit mehreren Verdampferquellen nach Art der Fig. 1 und 2.

Die in den Fig. 1 und 2 gezeigte Verdampferquelle (1) beinhaltet ein bootartiges Formteil (2), in dem in einer Vertiefung (4) das zu verdampfende Material (3) aufgenommen ist. Der bootartige Verdampfungsgutbehälter (2) wird für einen Aufdampfvorgang mit im wesentlichen horizontaler Längsachse so angeordnet, daß die offene Seite der nur einseitig offenen Vertiefung (4) nach oben weist. Der bootartige Verdampfungsgutbehälter (2) wird koaxial von einem stirnseitig offenen Rohrkörper (6) umgeben, der sowohl eine Dampfreflektorfunktion als auch eine Heizfunktion erfüllt. Die Beheizung erfolgt indirekt dadurch, daß in den Rohrkörper, der aus einem elektrisch isolierenden, keramischen Material, wie z. B. Aluminiumoxid, Bornitrid oder Siliziumkarbid besteht, äquidistant über den Umfang verteilt axial verlaufende Durchgangskanäle (8) eingebracht sind, durch die dünne Heizdrähte (19) aus einem hoch-

schmelzenden Metall, wie Molybdän, Tantal oder Wolfram, hindurchgeführt sind, welche eine ohmsche Heizung realisieren. Anstelle von Heizdrähten sind auch dünne Heizbänder verwendbar. Alternativ zu derartigen, in Durchgangskanälen des Rohres (6) geführten, dünnen Heizelementen können zur Rohrheizung mäanderförmige Grafitheizelemente oder Metallfolien vorgesehen werden, die das Rohr (6) umgeben. Des weiteren kommt eine direkte Rohrbeheizung in Betracht, wozu als Heiz- und Reflektorrohr ein solches verwendet wird, das direkt, z. B. mittels chemischer Gasphasenabscheidung, aufgebrachte Heizmäander aus pyrolytischem Grafit oder einem hochschmelzenden Metall beinhaltet oder das von einem zylindrischen Heizrohr aus hochschmelzender Metallfolie gebildet wird, wobei das verwendete Metall so gewählt ist, daß es gegenüber dem zu verdampfenden Material inert ist.

Der Reflektorrohrkörper (6) ist umfangsseitig bis auf einen Dampfauslaß in Form eines axial verlaufenden Schlitzes (7), wie er in Fig. 3a verkürzt wiedergegeben ist, geschlossen und für den beim Schmelzen des Verdampfungsgutes (3) entstehenden Dampf undurchdringlich ausgeführt. Der Verdampfungsgutbehälter (2) ist an seinen Stirnseiten jeweils mit einem kreisrunden Abschluß (11, 12) versehen, deren Abstand (L) der Länge des Dampfaustrittsschlitzes (7) entspricht und deren Durchmesser nur geringfügig kleiner als der Innendurchmesser des Reflektorrohrs (6) ist, so daß vom Verdampfungsgutbehälter (2) und dem diesen radial umgebenden Dampfreflektorrohr (6) ein Dampfraum (10) begrenzt ist, wobei darin befindlicher Dampf durch den Dampfaustrittsschlitz (7) linienförmig austreten kann. Die Länge (L) der Dampfaustrittsschlitzes (7) ist dabei selbstverständlich auf den jeweiligen Anwendungsfällen variabel abstimmbar. Der so gestaltete Verdampfungsgutbehälter (2) ist aus einem hochdichten, reinen, temperaturbeständigen und nicht mit dem Verdampfungsgut (3) reagierenden Material, wie z. B. Grafit oder Bornitrid, als Formteil hergestellt, wobei sich die Materialauswahl auch nach den physikalischen Eigenschaften des für das Reflektorrohr (6) verwendeten Materials richtet. Neben der gezeigten Realisierung kann der Verdampfungsgutbehälter (2) auch aus mehreren Einzelteilen aufgebaut sein, und anstelle der gezeigten einteiligen Vertiefung (4) kann eine in einzelne Sektoren unterteilte Vertiefung vorgesehen sein.

Der Reflektorrohrkörper (6) ist so angeordnet, daß er bezüglich des Verdampfungsgutbehälters (2), der in seiner jeweiligen, das Verdampfungsgut (3) aufnehmenden, horizontalen Lage verbleibt, um seine Längsachse drehbeweglich ist. Das Reflektorrohr (6) umgibt dabei die stirnseitigen Abschlüsse (11, 12) des Verdampfungsgutbehälters (2) so, daß die Drehbeweglichkeit gewährleistet ist, ohne daß nennenswerte Dampfmengen austreten. Eventuell stirnseitig austretende, geringfügige Dampfmengen sind unkritisch, da bei der Anwendung die Verdampferquelle (1) insgesamt innerhalb eines evakuierten Aufdampfraums angeordnet ist, in den dieser stirnseitig austretende Dampf ebenso wie der zur Aufdampfbeschichtung aus dem Dampfaustrittsschlitz (7) austretende Dampfstrahl gelangt. Sollte der stirnseitig austretende Dampf dennoch stören, kann in einer herkömmlichen Weise eine dampfdichte Abdichtung zwischen den Endabschlüssen (11, 12) und dem Reflektorrohr (6) vorgesehen werden, welche die geforderte Drehbeweglichkeit des Reflektorrohrs (6) zuläßt.

Durch die Drehbeweglichkeit des Reflektorrohrs (6) um seine Längsachse, wie sie durch den Doppelpfeil (D)

von Fig. 1 illustriert ist, läßt sich der Dampfaustrittsschlitz (7) in jede gewünschte Winkelstellung verbringen, so daß die Verdampferquelle eine linienförmige Dampfemission in jede gewünschte Richtung bereitstellen kann, z. B. auch nach unten, wie in den Fig. 1 und 2 gezeigt.

Der Austrittsquerschnitt des Dampfaustrittsschlitzes (7) ist, wie aus Fig. 1 zu erkennen, sehr klein im Vergleich zur gesamten Oberfläche des Dampfraums (10), er beträgt beispielsweise nur höchstens ein oder wenige Prozent der Umfangsfläche des dampfraumbegrenzenden Reflektorrohrs (6). Dadurch wird erreicht, daß sich beim Verdampfen des Materials (3) im Verdampfungsgutbehälter (2) ein thermisches Gleichgewicht zwischen dem aufgenommenen, erhitzten, festen oder flüssigen Material (3) und dem daraus bestehenden Dampf im Dampfraum (10) einstellt. Der sich im Dampfraum (10) einstellende Gleichgewichtsdampfdruck bewirkt einen sehr homogenen Dampfaustrittsfluß, was sich vorteilhaft auf die mit dem zugehörigen Dampfstrahl herstellende Beschichtung auswirkt.

Zur thermischen Abschirmung ist die Anordnung aus Reflektorrohrkörper (6) und Verdampfungsgutbehälter (2) von einem zylinderförmigen Hitzeschilde (9) stirnseitig und umfangsseitig bis auf den Dampfaustrittsschlitz (7) mit Abstand unter Bildung stirnseitiger Randzonen (R1, R2) umschlossen. Das Hitzeschilde (9) bildet einen thermischen Strahlungsreflektor und beinhaltet umfangsseitig mehrere Lagen einer Metallfolie aus hochschmelzendem und gut reflektierendem Material, die das Reflektorrohr (6) koaxial umgeben. Optional kann für das Hitzeschilde (9) eine aktive Kühlung mit Wasser oder Flüssigkeitstickstoff vorgesehen werden, wozu beispielsweise ein gekühlter Doppelzylinder aus Edelstahl verwendbar ist. Das Hitzeschilde (9) verringert die Aufheizung der Umgebung und die zum Verdampfen notwendige Heizleistung. Durch geeignete Konfektionierung des Hitzeschildes, z. B. durch eine unterschiedliche Anzahl von Reflektorfalten in verschiedenen Längsabschnitten des Hitzeschildes, lassen sich eventuell auftretende Temperaturinhomogenitäten ganz oder teilweise kompensieren.

Zur Messung der Temperatur des Verdampfungsgutbehälters (2) sind in axial verlaufende Bohrungen (13, 14) desselben Temperaturmeßelemente (15, 16), z. B. in Form von Thermoelementen, eingesetzt, die in Längsrichtung zugeführt sind, wobei sie durch entsprechende Durchführungsöffnungen (17, 18) der stirnseitigen Hitzeschildabschnitte hindurchgeführt sind.

Zur Erzeugung eines Dampfstrahls wird der Reflektorrohrkörper (6) mittels Strombeaufschlagung der Heizdrähte (19) beheizt. Durch Hochheizen des Rohres (6) wird das zu verdampfende Material (3) im Verdampfungsgutbehälter (2) über Strahlungsheizung auf die zum Verdampfen ausreichende Temperatur gebracht, wonach der Dampf die Vertiefung (4) nach oben verläßt und sich im Dampfraum (10) Gleichgewichtsdampfdruck einstellt. Da das umschließende Reflektorrohr (6) und nicht der Verdampfungsgutbehälter (2) die Wärmequelle für die Materialverdampfung bildet, tritt keine Kondensation oder Tröpfchenbildung am Reflektorrohr (6) auf. Die Dampfteilchen bewegen sich nach meist mehrmaliger Reflexion am Reflektorrohr (6) und am Verdampfungsgutbehälter (2) schließlich in Form eines linienförmigen Dampfstrahls durch den Dampfaustrittsschlitz (7) nach außen, z. B. in Richtung eines zu beschichtenden Substrates. Wie gesagt kann bei stets gleichbleibender Positionierung des Verdampfungsgut-

behälters (2) der umschließende Rohrkörper (6) um einen beliebigen Winkel um die gemeinsame Längsachse der Anordnung gedreht werden, so daß der Dampfstrahl in jede gewünschte Richtung emittiert werden kann.

Neben dem in dem Reflektorrohrkörper (6) der Fig. 1 und 2 vorgesehenen Dampfaustrittsprofil in Form eines schmalen, rechteckförmigen Schlitzes, wie er in Fig. 3a wiedergegeben ist, kann je nach Anwendungsfall jedes beliebige andere Dampfaustrittsprofil in dem Reflektorrohrkörper vorgesehen sein. In den Fig. 3b bis 3g sind beispielhaft bevorzugte Varianten wiedergegeben. Das in Fig. 3b verkürzt gezeigte Profil besteht aus einer Vielzahl von in einer längsverlaufenden Linie hintereinander angeordneten Durchtrittsöffnungen, die sämtlich denselben Durchmesser und denselben Abstand voneinander besitzen, so daß sich in Längsrichtung ein quasi homogener Austrittsquerschnitt ergibt, der funktionell im wesentlichen dem in Längsrichtung homogenen Austrittsquerschnitt des Beispiels von Fig. 3a entspricht. Das in Fig. 3c verkürzt gezeigte Profil besteht aus einem durchgehenden Längsschlitz nach Art von Fig. 3a, der sich jedoch zu beiden Enden hin verbreitert. Dies fördert die homogene Beschichtung eines Substrats mit einer auch zu den Seitenbereichen hin gleichbleibenden Schichtdicke. Diesem Zweck dient auch das in Fig. 3d gezeigte Dampfaustrittsprofil, welches der bei Verwendung eines in Längsrichtung konstanten Austrittsprofils bestehende Tendenz einer zu den Seitenbereichen des beschichteten Substrats hin abnehmenden Schichtdicke dadurch begegnet, daß es aus in Längsrichtung hintereinanderliegenden, kreisförmigen Öffnungen besteht, deren Durchmesser sich zu den Endbereichen des Profils hin stetig vergrößert. Der gleiche Effekt auf die Beschichtungscharakteristik läßt sich durch Verwendung des in Fig. 3e gezeigten Dampfaustrittsprofils erzielen, welches aus in Längsrichtung hintereinanderliegenden, kreisrunden Öffnungen besteht, die zwar sämtlich denselben Durchmesser aufweisen, deren Abstand sich jedoch zu den Profilendbereichen hin stetig verringert. In den Fig. 3f und 3g sind Dampfaustrittsprofile in Form von keilförmigen Schlitzten gezeigt, wobei die Keillinien im Fall von Fig. 3f gerade sind, während sie im Fall von Fig. 3g konkav gebogen verlaufen. Mit diesen Profilen lassen sich linienförmige Dampfstrahlen mit von einem zum anderen Ende stetig zunehmender Dampfaustrittsmenge erzeugen.

Selbstverständlich sind neben den bereits genannten weitere Modifikationen der gezeigten Verdampferquelle realisierbar. So kann bei Bedarf der Verdampfungsgutbehälter als beheizbarer Tiegel ausgeführt sein, der dann zur Materialverdampfung geheizt wird, während parallel dazu der Reflektorrohrkörper auf eine kondensationsverhindernde Temperatur aufgeheizt wird. Bei dieser Ausgestaltung braucht der Rohrkörper folglich mit seiner Heizleistung nicht auf die Verdampfung des Materials im Behälter ausgelegt zu sein.

In Fig. 4 ist eine Nachfüleinrichtung (20) gezeigt, die sich für eine kontinuierliche Zufuhr von zu verdampfendem Material in die materialaufnehmende Vertiefung (4) der in den Fig. 1 und 2 dargestellten Verdampferquelle (1) eignet. Die Nachfüleinrichtung ist von trichterförmiger Gestalt mit einem Vorratsbehälter (21), der in ein nach unten führendes Zufuhrrohr (22) übergeht. Im Inneren des Vorratsbehälters (21) und des Zufuhrrohrs (22) befindet sich das nachzufüllende Material (24). Als solches kann in den Vorratsbehälter (21) jegliches feste Material, z. B. Schüttgut oder Drahtmaterial, ein-

gebracht werden. Das Zufuhrrohr (22) erstreckt sich nach unten durch eine nicht gezeigte Öffnung im Mantel des Hitzeschildes und durch eine Öffnung (25) an der Oberseite des mit nach unten weisendem Dampfaustrittsschlitz (7) positionierten Reflektorrohrkörpers (6) in den Bereich über der Vertiefung. Dabei verschließt das Zufuhrrohr (22) die Öffnung (25) im Reflektorrohrkörper dampfdicht. Die gesamte Außenseite der Nachfüleinrichtung (20), d. h. sowohl die Außenseite des Zufuhrrohrs (22) als auch die Außenseite des Vorratsbehälters (21), sind von einer Heizeinrichtung (23) umgeben, mit der das darin befindliche Material (24) geschmolzen werden kann, so daß es durch das Zufuhrrohr (22) nach unten fließt und in die Vertiefung (4) im Verdampfungsgutbehälter der Verdampferquelle gelangt. Durch eine nicht gezeigte Steuerungseinrichtung kann die Temperatur der beheizbaren Nachfüleinrichtung (20) gesteuert werden, wodurch sich eine gewünschte Nachfüllrate einstellen läßt. Durch Absenkung der Temperatur der Nachfüleinrichtung (20) erstarrt das Material (24) in selbiger und insbesondere im Zufuhrrohr (22) wieder, wodurch sich die Verbindung von Vorratsbehälter (21) und Verdampferquelle (1) selbsttätig wieder verschließt.

Die in Fig. 4 dargestellte Nachfüleinrichtung (20) erlaubt noch einen eingeschränkten Einstellbereich für das drehbewegliche Reflektorrohr (6), der dadurch begrenzt ist, daß die Durchführungsöffnung (25) für das Zufuhrrohr (22) jedenfalls noch in der oberen Rohrhälfte liegen muß, so daß dementsprechend die Lage des Dampfaustrittsschlitzes (7) noch in einem Winkelbereich von höchstens 180° veränderbar ist. Wenn der Vorratsbehälter auch bei gekippter Zufuhrrohr-Durchführungsöffnung (25) möglichst waagrecht verbleiben soll, kommt die Verwendung eines flexiblen oder abwinkelbaren Zufuhrrohres in Betracht. Um alternativ auch bei an der Verdampferquelle angebrachter Nachfüleinrichtung weiterhin durch Drehen des Reflektorrohrkörpers jede beliebige Winkelstellung des Dampfaustrlasses einstellen zu können, kann in nicht gezeigter Weise vorgesehen sein, die Nachfüleinrichtung mit einem Vorratsbehälter und einem davon schräg nach unten abführenden Zufuhrrohr auszubilden und so anzuordnen, daß letzteres stirnseitig von schräg oben durch entsprechende Öffnungen in einer der stirnseitigen Hitzeschilde abdeckungen und einer der Stirnseitenabschlüsse des Verdampfungsgutbehälters in den Bereich über der Vertiefung (4) führt. Mit einer so angebrachten Nachfüleinrichtung werden Beschränkungen der möglichen Winkelstellungen des Reflektorrohres vermieden.

Es versteht sich, daß die gezeigte Nachfüleinrichtung (20) nicht auf eine Verwendung in Verbindung mit der oben gezeigten Verdampferquelle (1) beschränkt ist, sondern vielmehr auch bei herkömmlichen Verdampferquellen zur Bereitstellung einer steuerbaren, kontinuierlichen Verdampfungsgutnachfüllung nutzbringend zum Einsatz kommen kann.

Die obige Verdampferquelle (1) kann mit oder ohne die Nachfüleinrichtung (20) von Fig. 4 in den verschiedenartigsten Aufdampfanlagen eingesetzt werden, für die eine linienförmige Dampfstrahlemission gefordert wird. Ein solches Beispiel ist in Fig. 5 dargestellt. Die dort wiedergegebene Aufdampfanlage dient der flächigen Substratbeschichtung von oben. Dabei wird ein flächiges Dünnschichtsubstrat, das aus Stabilitätsgründen auf einem ebenen Träger aufliegt, im Durchlaufbetrieb, dessen Richtung durch Pfeile (32) markiert ist, beschichtet, wozu die Aufdampfanlage aus fünf in Durchlaufrichtung hintereinanderliegenden Abschnitten besteht,

## Patentansprüche

nämlich einer Eintrittsschleuse (26), einem Vorheizabschnitt (27), einem Aufdampfabschnitt (28), einem Abkühlabschnitt (29) und einer Austrittsschleuse (30). Die beiden Schleusen (26, 30) bilden die Verbindung zwischen den evakuierten drei mittleren Abschnitten (27, 28, 29) und der Umgebung. In den drei mittleren Anlageabschnitten (27, 28, 29) sind jeweils Heizelemente (33) zur Aufheizung des Substrats angeordnet, um eine ausreichende Migrationsfähigkeit des aufgedampften Materials zu gewährleisten. Im Aufdampfabschnitt (28) sind des weiteren vier in Durchlaufrichtung hintereinanderliegende Verdampferquellen (1') der in den Fig. 1 und 2 gezeigten Art in gleicher Höhe über der Substratdurchführungsebene angeordnet, wie dies in der Figur nur schematisch angedeutet ist, wobei sich die Verdampferquellen (1') mit ihrer Längsrichtung quer zur Durchlaufrichtung erstrecken und die Dampfaustrittsschlitzte (7') jeweils nach unten weisen. Die Verdampferquellen (1') sind des weiteren mit zugehörigen Nachfüleinrichtungen gemäß Fig. 4 ausgerüstet.

Die Anordnung (31) von Träger und daraufliegendem Substrat wird von der Eintrittsschleuse (26) in den Vorheizabschnitt (27) geführt und dort vorgeheizt, wonach sie mit steuerbarer Geschwindigkeit durch den Aufdampfabschnitt hindurch und damit unter den Verdampferquellen (1) vorbeigeleitet wird. Die Verdampferquellen (1) enthalten jeweils ein geeignetes Verdampfungsgut, um das Substrat mit einer mehrkomponentigen Beschichtung oder einer einkomponentigen Beschichtung vergleichsweise größerer Dicke zu versehen. Es versteht sich, daß die Dampfaustrittsschlitzte (7') der Verdampferquellen (1) die zur gewünschten Beschichtungsbreite des Substrats erforderliche Länge besitzen, wobei die Länge der Verdampferquellen (1) bei Bedarf praktisch so groß wie die Tiefe der Aufdampfanlage gewählt werden kann. Nach erfolgter Beschichtung wird der Träger-Substrat-Komplex im nachfolgenden Abschnitt (29) kontrolliert langsam abgekühlt, wonach er in die Austrittsschleuse (30) verbracht wird, von wo er der Aufdampfanlage (26) entnommen werden kann. Mit dieser Anlage (26) können beispielsweise Mehrkomponentenschichten für Dünnschichtsolarzellen mit Heteroübergang, die Schichten aus ternären oder quaternären Verbindungen, z. B. CuInSe<sub>2</sub> oder CuIn<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Se<sub>2</sub>, beinhaltet, in einem Durchlauf auf Glassubstrate aufgebracht werden, wobei sich durch gezielte Wahl der Dampfstrahlaustritsrichtung und durch geeignete Dampfaustrittsprofilgestaltung jeder Verdampferquelle die jeweils gewünschte Schichtfolge, ggf. auch mit vorgebaren Elementkonzentrationsgradienten, einstellen läßt.

Es versteht sich, daß die erfundungsgemäße Verdampferquelle zum Einsatz in vielen weiteren Anwendungsfällen geeignet ist, entweder als Einzelquelle oder durch Anordnung mehrerer dieser Quellen, wobei die Verdampfungsrichtung und die Charakteristik des Dampfaustrittsstrahls frei wählbar sind. Je nach Aufdampfanlage lassen sich damit sowohl feststehende wie auch bewegliche Substrate, auch in Form von Bändern, einlagig oder mehrlagig in beliebiger Richtung und mit beliebigem Dampfstrahlprofil beschichten. Insbesondere eignet sich eine solchermaßen ausgerüstete Aufdampfanlage zur Beschichtung ebener Substrate mit Element- oder Mehrkomponentenschichten mit einer beliebig einstellbaren, insbesondere sehr homogenen Schichtdickenverteilung, vorzugsweise auch bei hohen Substrattemperaturen im Durchlaufverfahren.

1. Verdampferquelle für eine Aufdampfanlage, mit  
— einem nach oben offenen Verdampfungsgutbehälter (2) mit einer materialaufnehmenden Vertiefung (4) und  
— einem den Verdampfungsgutbehälter umgebenden, beheizbaren Reflektorrohrkörper (6) mit einem Dampfauslaß (7), dadurch gekennzeichnet, daß

— der beheizbare Reflektorrohrkörper (6) den Verdampfungsgutbehälter (2) unter Begrenzung eines gleichgewichtsdampfdruckbildenden Dampfraumes (10) umgibt und gegenüber dem Verdampfungsgutbehälter um seine Längsachse drehbeweglich angeordnet ist.

2. Verdampferquelle nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Dampfauslaß als linienförmiges, sich im wesentlichen parallel zur Reflektorrohrkörperlängsachse erstreckendes Austrittsprofil gestaltet ist, das entweder aus einer Schlitzöffnung konstanter Breite oder einer sich zu wenigstens einem Endbereich hin erweiternden Schlitzöffnung oder einer Mehrzahl von hintereinanderliegenden Einzelöffnungen besteht, deren Austrittsquerschnitt konstant ist oder zu wenigstens einem Endbereich hin zunimmt und/oder deren Abstand zu wenigstens einem Endbereich hin abnimmt.

3. Verdampferquelle nach Anspruch 1 oder 2, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Reflektorrohrkörper als stirmseitig offenes Rohr (6) ausgebildet ist und der Verdampfungsgutbehälter (2) stirmseitig mit dampfaustrittshindernden Abschlüssen (11, 12) versehen ist, wobei sich der Dampfauslaß (7) in Axialrichtung zwischen den stirmseitigen Abschlüssen des Verdampfungsgutbehälters befindet.

4. Verdampferquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, weiter dadurch gekennzeichnet, daß ein Temperaturmeßelement (15) stirmseitig in eine entsprechende Bohrung (13) im Verdampfungsgutbehälter (2) eingesetzt ist.

5. Verdampferquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Reflektorrohrkörper (6) durch ohmsche Heizung direkt oder indirekt beheizbar ist, wozu er entweder als zylindrisches Heizrohr aus hochschmelzender Metallfolie oder aus einem keramischen, elektrisch isolierenden Material besteht, an welchem elektrische Heizelemente (19) angeordnet sind.

6. Verdampferquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 5, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Reflektorrohrkörper (6) einschließlich dessen Heizeinrichtung bis auf den Dampfauslaß (7) umfangs- und stirmseitig von einer thermischen Abschirmung (9) umgeben ist.

7. Verdampferquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 6, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Verdampfungsgutbehälter (2) zur Materialverdampfung und der Reflektorrohrkörper (6) zur Kondensationsverhinderung aufheizbar ist.

8. Verdampferquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch eine Nachfüleinrichtung (20) mit

— einem gesteuert beheizbaren, auf Höhe über der materialaufnehmenden Vertiefung (4) der Verdampferquelle (1) positionierbaren Vorratsbehälter (21) und

— einem aus dem Vorratsbehälter herausführenden, gesteuert beheizbaren Zuführrohr (22), das bei an der Verdampferquelle positionierter Nachfüllvorrichtung mit einer Abwärtskomponente vom Vorratsbehälter in den Bereich über der materialaufnehmenden Vertiefung führt.

9. Verwendung wenigstens einer Verdampferquelle nach den Ansprüchen 1 bis 8 in einer Aufdampfanlage.

10. Verwendung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß in der Anlage im für Durchlauf geeigneten Dauerbetrieb mehrere in Durchlaufrichtung hintereinanderliegende Verdampferquellen (1) mit linienförmigen, zueinander parallelen und quer zur Durchlaufrichtung liegenden Dampfaustrittsprofilen (7) angeordnet sind.

11. Verwendung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Verdampferquellen (1) oberhalb der Substratdurchlaufebene mit im wesentlichen nach unten gerichtetem Dampfauslaß (7) angeordnet sind.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

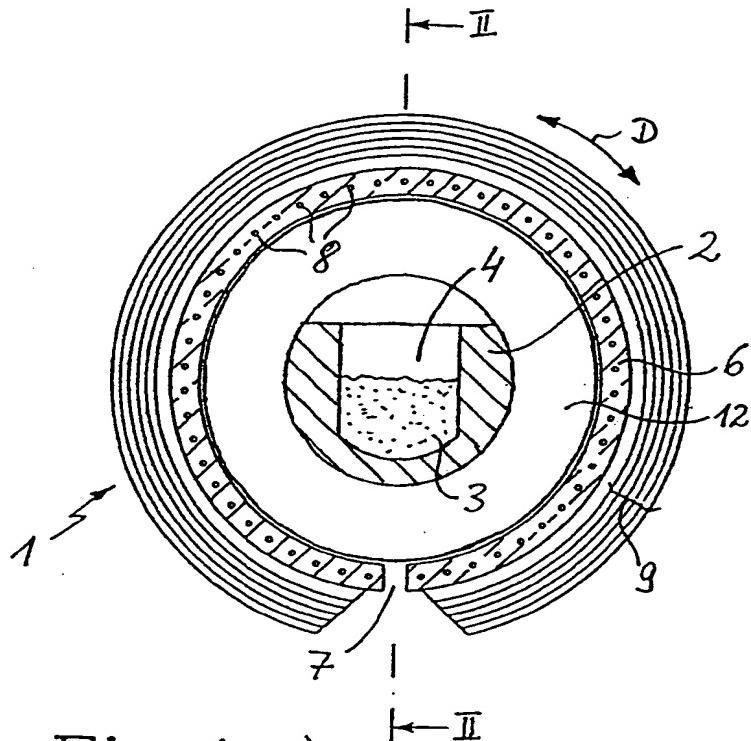


Fig. 1

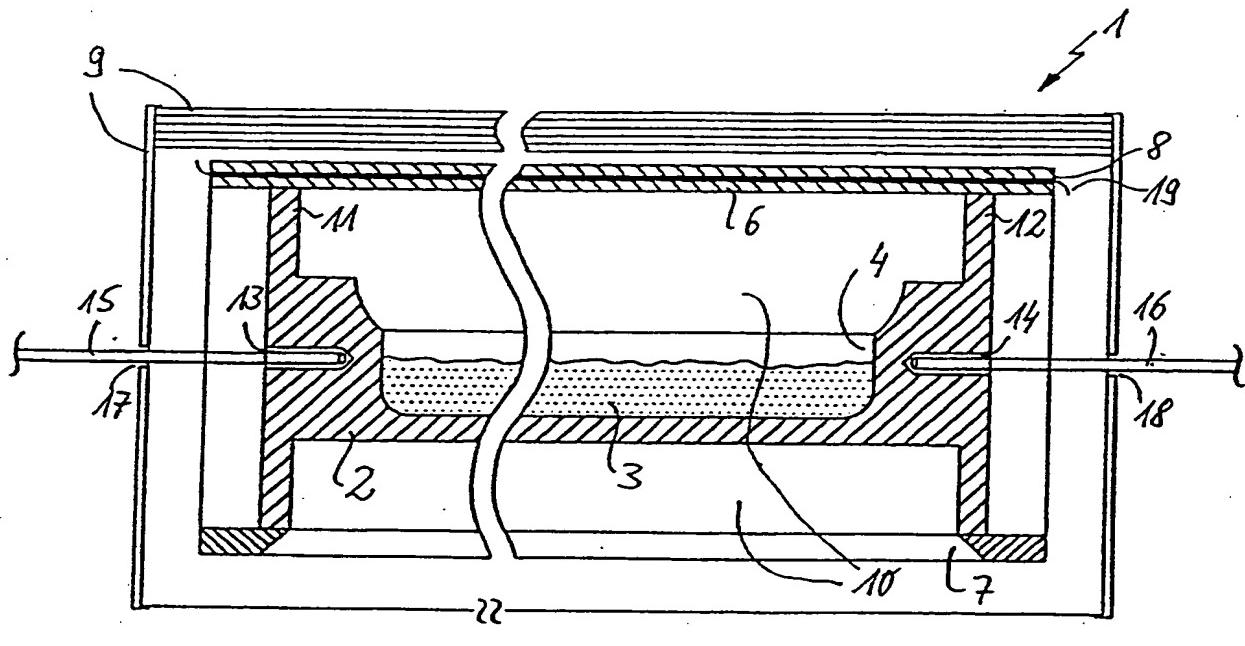


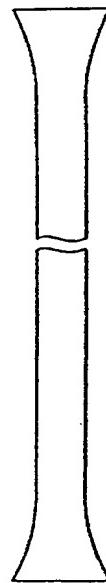
Fig. 2



a



b



c



d



e



f



g

Fig. 3

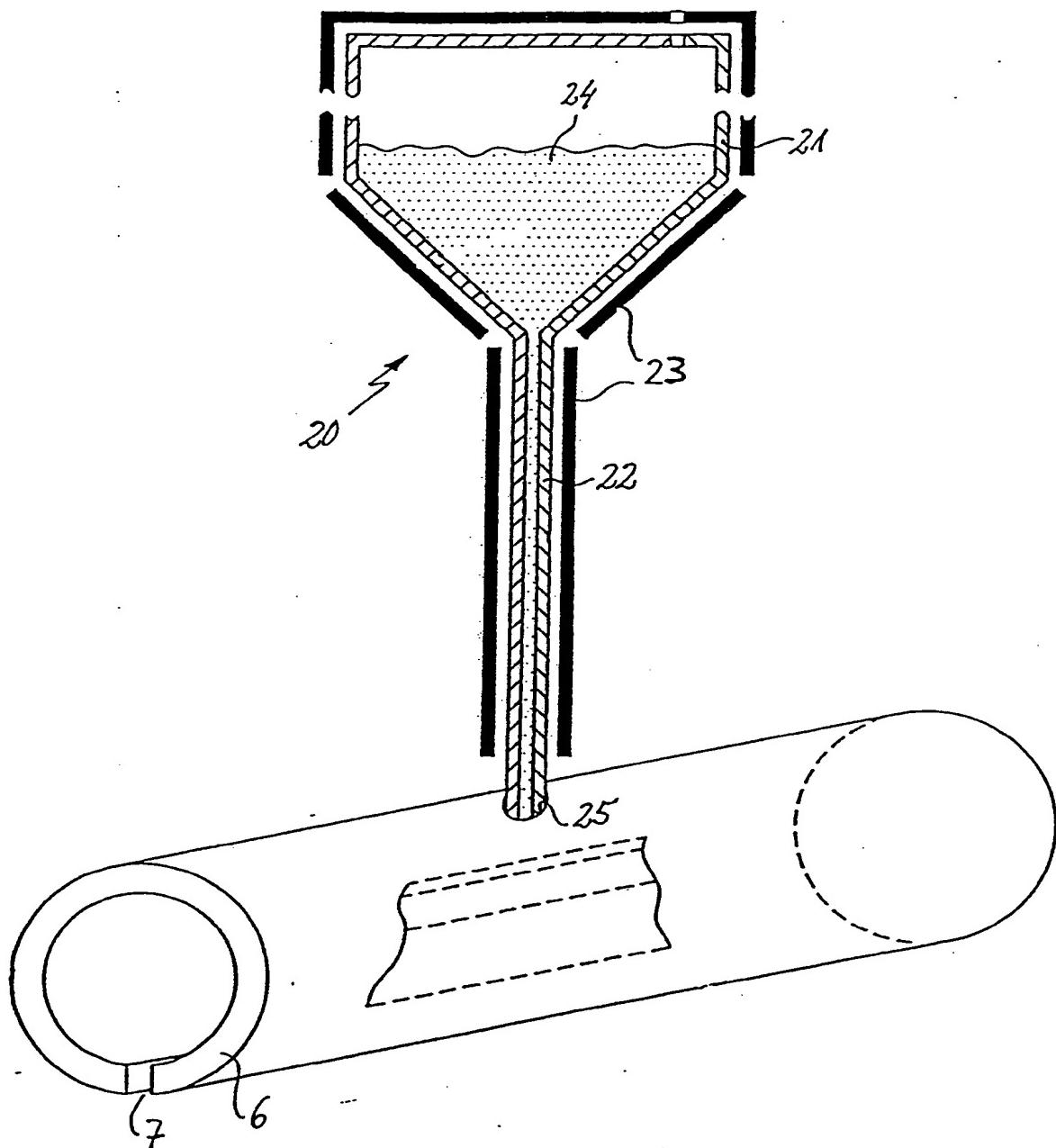


Fig. 4

